

Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Часть 4 – результаты мониторинга

радона внутри грунтовых массивов

В статье приводятся результаты долгосрочных (от 1 до 3 лет) измерений объемной активности радона, температуры и концентрации нерадиоактивных газов в порах грунта на разной глубине (до 10 м) четырех экспериментальных площадок, расположенных на открытой местности и в подвалах зданий в Москве, Рязанской области, Екатеринбурге и Пятигорске. Отмечаются общие закономерности изменения объемной активности радона во времени и по глубине грунта на различных экспериментальных площадках. Анализируется роль отдельных факторов в формировании радоновых полей в грунте.

Ключевые слова: радон, радий, мониторинг радона, объемная активность радона в грунте, распределение температуры в грунте, перепад давления в грунте, экспериментальная площадка.

А.М.Маренный¹, П.С.Микляев^{1,2}, А.В.Пенезев¹, А.А.Цапалов¹,
А.В.Климшин³, М.Н.Лопатин⁴, М.А.Маренный⁵, Т.Б.Петрова⁶,
Д.И.Шкуропат⁵, А.В.Щелкунов⁷, А.С.Янкин⁸

¹ФГУП НТЦ радиационной и химической безопасности ФМБА России, г.Москва; ²Институт геоэкологии им.Е.М.Сергеева РАН, г.Москва; ³ФГБУН Институт геофизики им.Ю.П.Булашевича УрО РАН, г.Екатеринбург; ⁴ФГУП "Урангео" БФ "Сосновгеология", г.Иркутск; ⁵ООО «ГК РЭИ», г.Москва; ⁶ФБГОУ ВО МГУ им.М.В.Ломоносова, г.Москва; ⁷ФГБУ ПГНИИ Курортологии ФМБА России, г.Пятигорск; ⁸ООО «Институт «Рязаньагроводпроект», г.Рязань

Введение. Данная статья является продолжением серии наших публикаций [1-3] об исследовании закономерностей формирования радоновых полей на основе результатов долгосрочных измерений, проводившихся в течение 2011–2013 гг. на Московской, Рязанской, Екатеринбургской, Пятигорской и затем (с 2014 г. по настоящее время) на Иркутской экспериментальных площадках (ЭП). Цели и задачи исследований, их содержание, объемы и общая продолжительность представлены в публикации [1]. Подробные сведения о

расположении и оборудовании экспериментальных площадок, а также о методах измерений приведены в публикации [2]. Результаты измерений плотности потока радона (ППР) на открытой местности и в подвалах зданий представлены в публикации [3]. В данной статье приводятся результаты измерений объемной активности (ОА) радона, температуры и концентрации нерадиоактивных газов (N_2 , O_2 , CO_2) в порах грунта на разной глубине ЭП. Радиационно-физические характеристики грунтовых массивов ЭП приводятся в статье [4] в этом же

номере журнала. Подробный комплексный анализ полученных данных будет изложен в наших последующих публикациях.

Результаты мониторинга. Результаты измерений представлены на рис.1–7. Измерения ОА радона в порах грунта и температуры на разной глубине ЭП всегда проводились параллельно с измерениями ППР, обычно еженедельно [3]. Отсутствие данных во временных рядах на рис.1–6, относящихся к некоторым датам, помимо ранее указанных причин организационного характера [3],

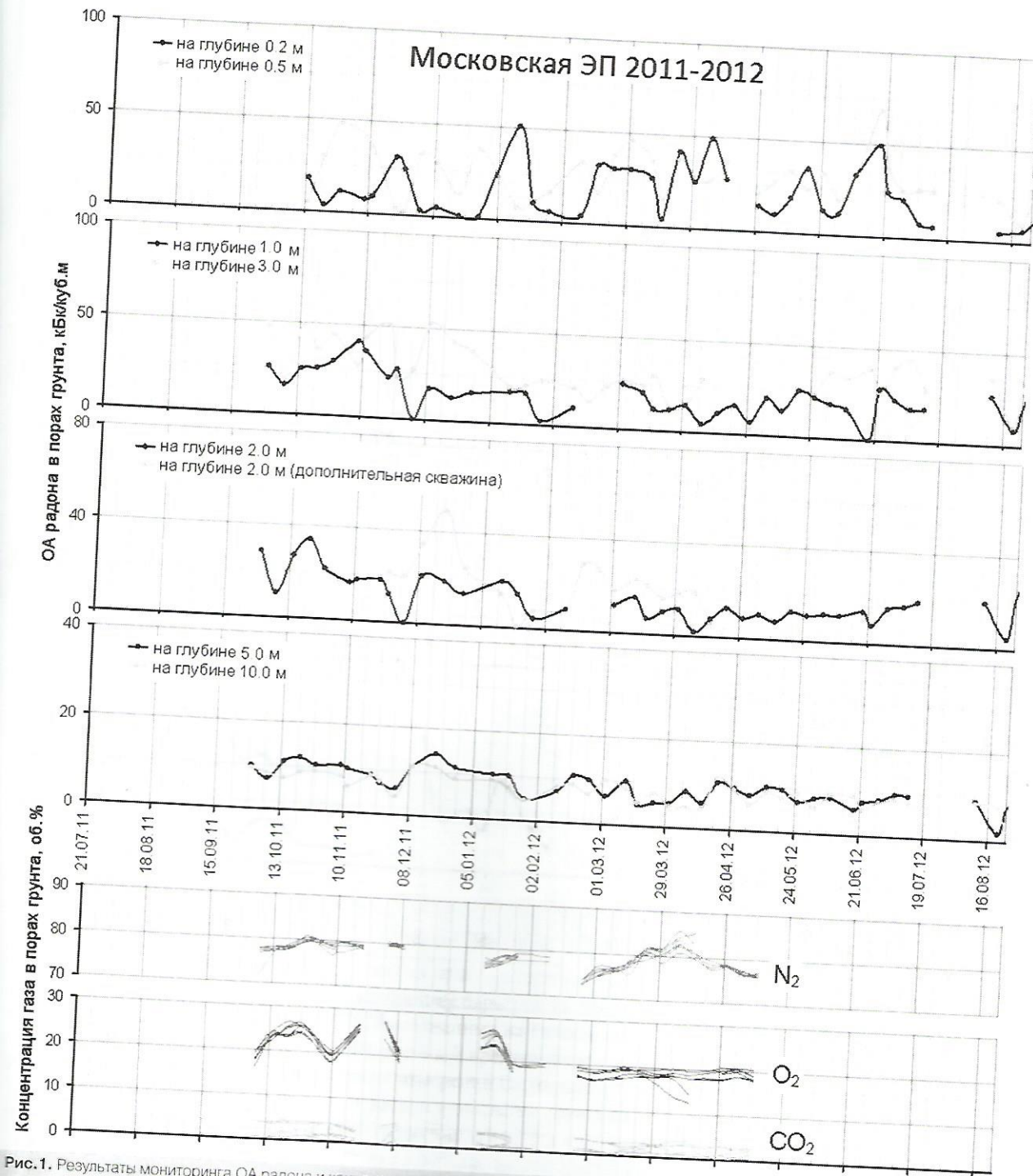


Рис. 1. Результаты мониторинга ОА радона и концентрации нерадиоактивных газов (N_2 , O_2 , CO_2) в порах грунта на разной глубине Московской ЭП за период с июня 2011 по август 2012 года (открытый грунт).

обусловлено затруднениями при откачке пробы газа в случаях чрезмерного содержания влаги в грунте, подтопления сборника радона или образования ледяной пробки внутри трубки, выходящей из сборника на поверхность через слой промерзшего грунта.

Кроме этого, вследствие деформационных напряжений, возникающих при обледенении или на границах разнородных слоев грунта, случались повреждения термодатчиков, либо их кабелей. Некоторые сеансы дополнялись измерениями концентрации

нерадиоактивных газов (только на Московской ЭП) и перепадов давления (Московская и Иркутская ЭП) в грунте на тех же глубинах, с которых производился отбор проб газа для измерений ОА радона.

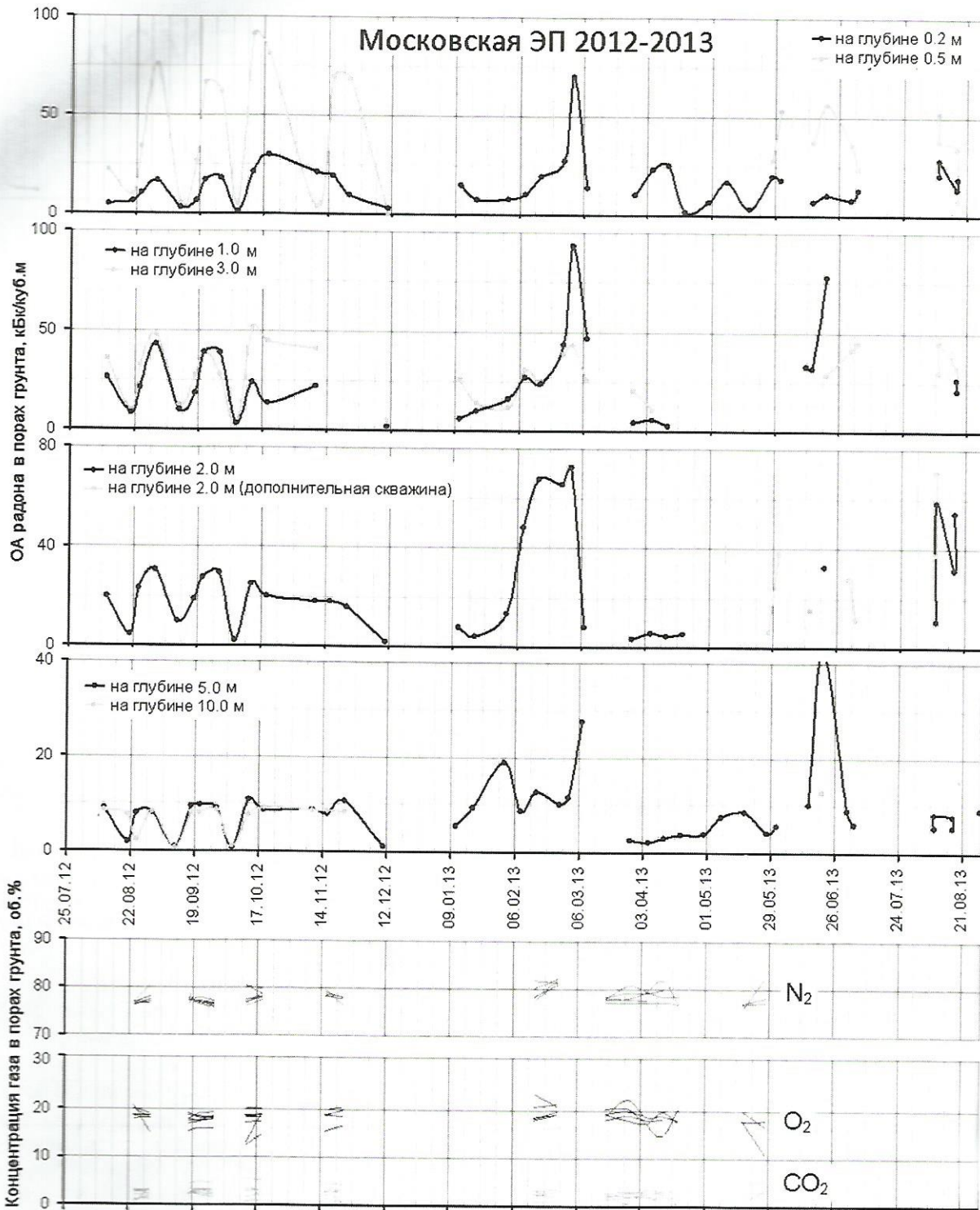


Рис.2. Результаты мониторинга ОА радона и концентрации нерадиоактивных газов (N_2 , O_2 , CO_2) в порах грунта на разной глубине Московской ЭП за период с июня 2012 по август 2013 года (открытый грунт).

Наблюдения на Московской ЭП проводились в течение почти трех лет с июля 2011 по август 2014 года. С июля 2011 по декабрь 2012 получен практически

непрерывный еженедельный ряд ОА радона, затем частота измерений снизилась, и после перерыва еженедельные наблюдения были возобновлены летом 2014 года и

продолжались около одного месяца. Таким образом, общая продолжительность непрерывных еженедельных наблюдений ОА радона на разных глубинах (0,2; 0,5; 1; 2;

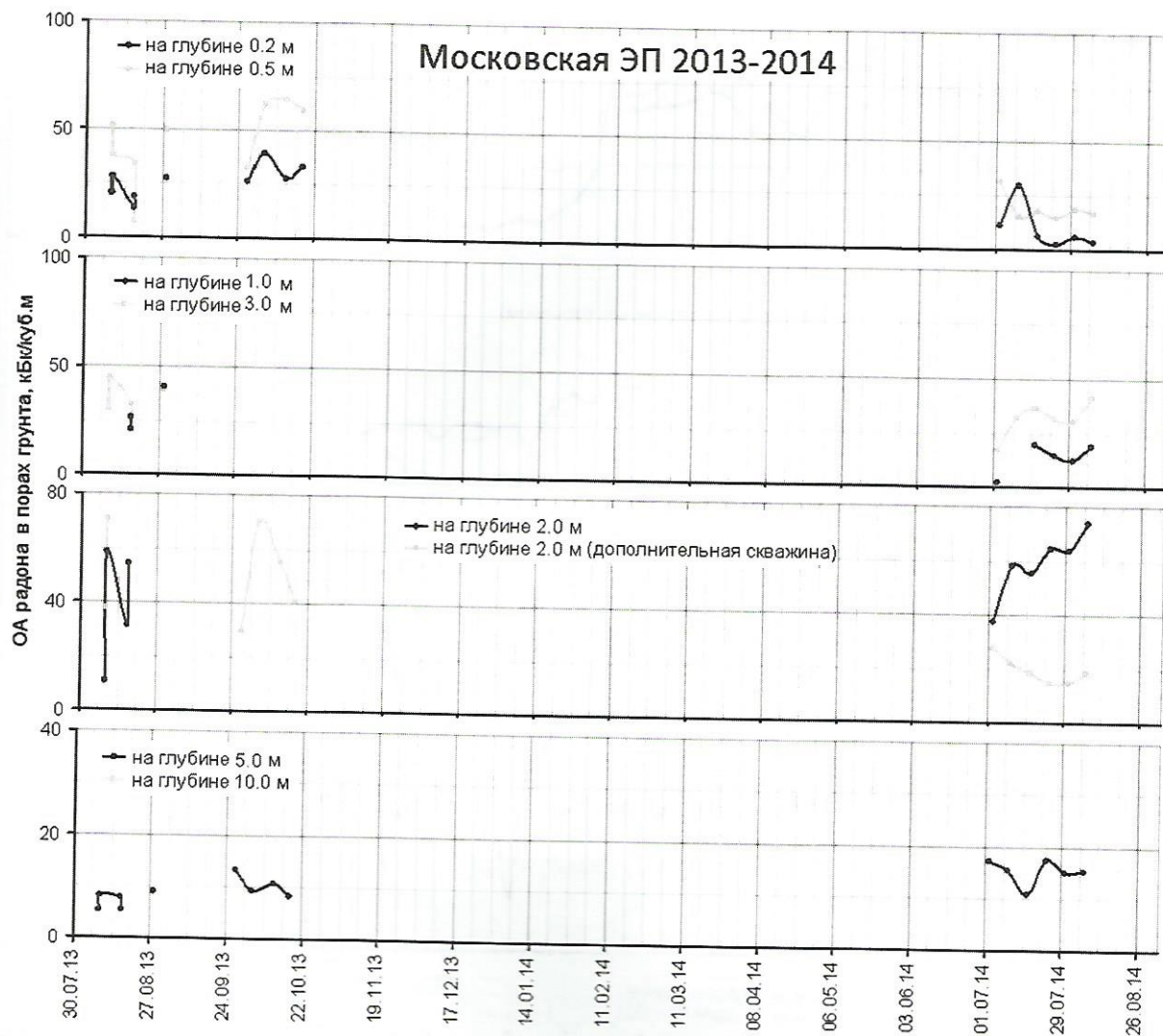


Рис.3. Результаты мониторинга ОА радона в порах грунта на разной глубине Московской ЭП за период с июня 2013 по август 2014 года (открытый грунт).

3; 5 и 10 м) составила два года. В ноябре 2011 года на глубину 2 м был установлен дополнительный сборник радона. Временной масштаб на рис.1–7 задан таким же, как при выводе результатов измерений ППР [3], поэтому результаты наблюдений на Московской ЭП приводятся тоже на трех рисунках (рис.1–3).

На остальных площадках наблюдения продолжались в течение года. На рис. 4 и 5 представлены результаты измерений ОА радона и температуры на глубине 0,5 и 1,7 м в подвале здания с земляным полом [2] и открытом грунте (на глубине 0,2; 0,5; 1; 1,8; 3; 4,8 и 6 м),

включая пункт измерения под изоляционным барьером на глубине 1 м, выполненных на Рязанской ЭП. На рис. 5 и 6 представлены результаты измерений ОА радона и температуры в открытом грунте на глубинах 0,2; 0,5; 1; 2; 3 и 4,5 м, а также в подвале здания Института УрО РАН с земляным полом на глубинах 0,5; 2 м и 0,2; 6 м (под изоляционным барьером), выполненных на Екатеринбургской ЭП. На Пятигорской ЭП измерения ОА радона выполнялись в открытом грунте на глубинах 0,2; 0,5; 1,3; 1,9; 2,3 и 4,7 м, а температуры грунта – на глубинах 0,2; 0,7; 1,2; 1,7; 2,7 и 4,7 м. Результаты этих

измерений представлены на рис.7.

В табл.1 представлены обобщенные данные по результатам всех измерений ОА радона в порах грунта на каждой из площадок за весь период наблюдений. Согласно данным этой таблицы, на рис.8 показано распределение ОА радона по глубине грунта на четырех ЭП.

На рис.9 представлены распределения среднегодовых значений температуры грунта по глубине на открытой местности (Рязанская и Пятигорская ЭП), в подвалах зданий (Рязанская и Екатеринбургская ЭП) и под изоляционным барьером (Рязанская ЭП).

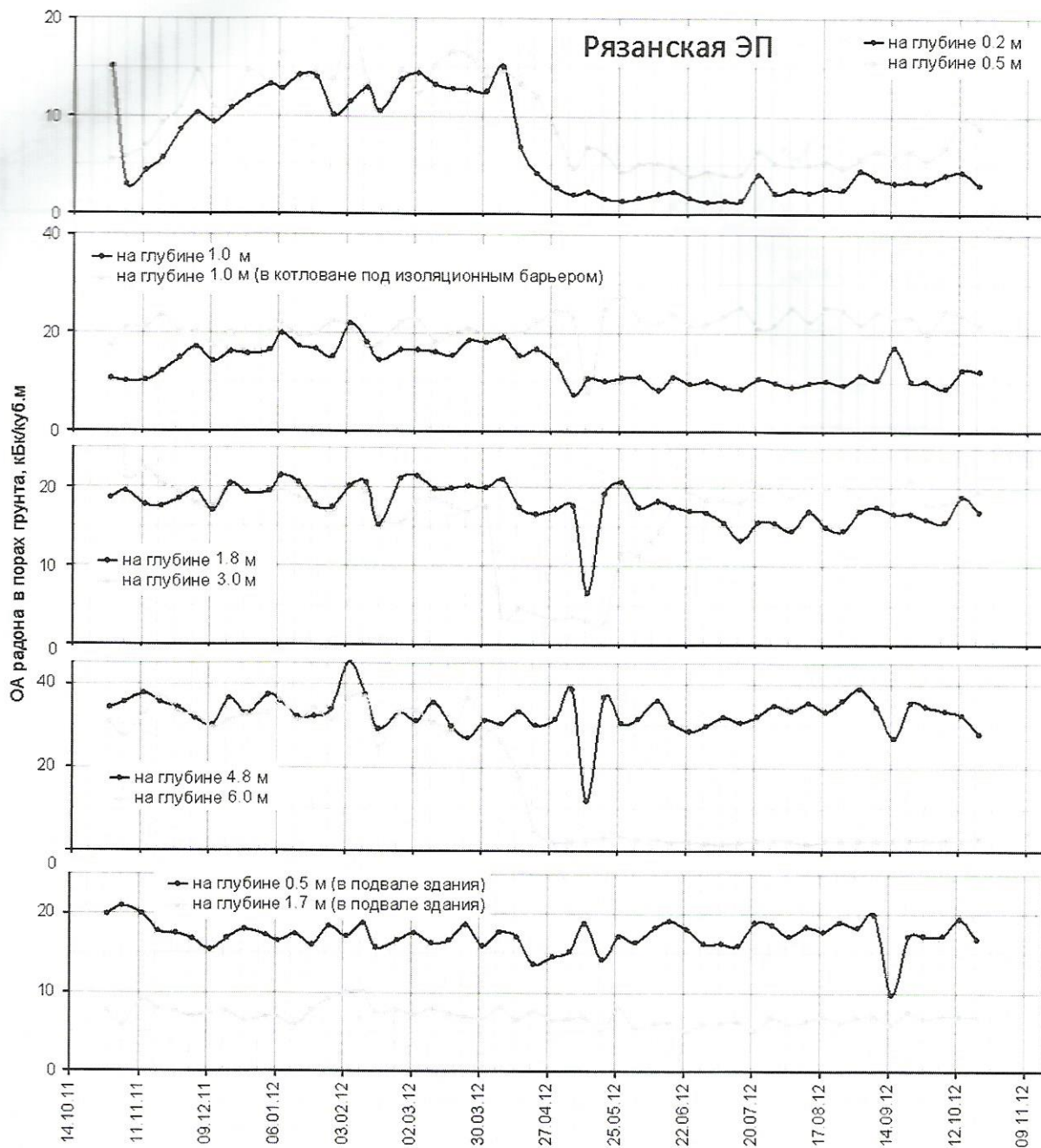


Рис.4. Результаты мониторинга ОА радона в порах грунта на разной глубине Рязанской ЭП (открытый грунт, подвал здания, изоляционный барьер).

На рис.10 показано распределение по глубине на Московской ЭП среднегодовых значений концентрации нерадиоактивных газов – N_2 , O_2 , CO_2 (значимых концентраций других газов не обнаружено).

В табл.2 приведены результаты максимальных зарегистрированных значений перепадов давле-

ния в грунте на разной глубине Московской и Иркутской ЭП.

Обсуждение результатов. Анализ рядов данных (рис.1–4, 6, 7 и табл.1) показывает, что на открытой местности ОА радона в порах грунта так же, как и ППР [3], испытывает существенные временные вариации (табл.1), амплитуда

которых не всегда затухает с глубиной, как это особенно видно на примере Московской ЭП, разрез которой представлен переслаиванием разнородных грунтов (глин, суглинков, песков). Увеличению вариаций также способствует периодическое чрезмерное увлажнение или подтопление грунтов на определенных глубинах (см. зна-

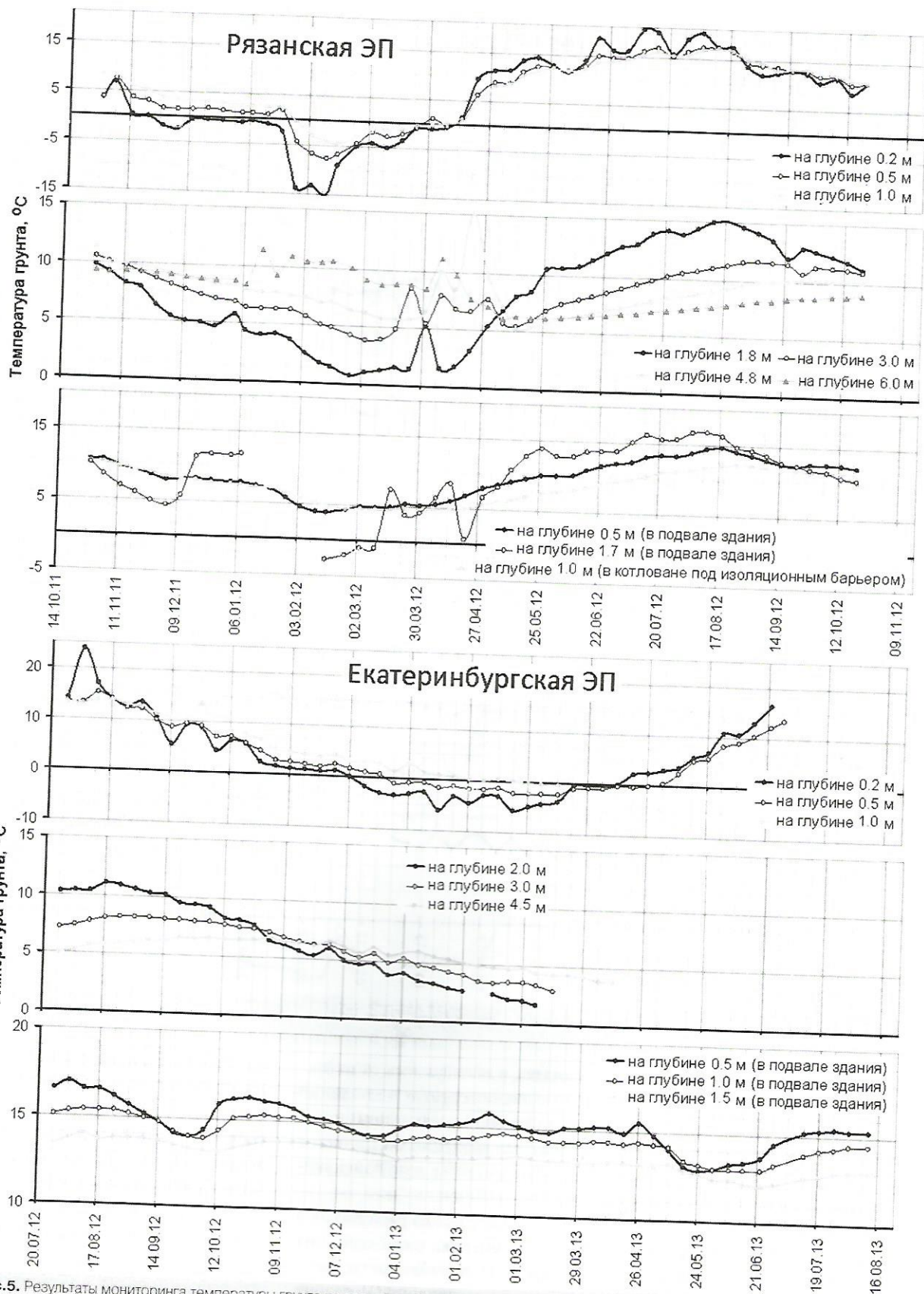


Рис. 5. Результаты мониторинга температуры грунта на разной глубине Рязанской и Екатеринбургской ЭП (открытый грунт, подвал здания, изоляционный барьер).

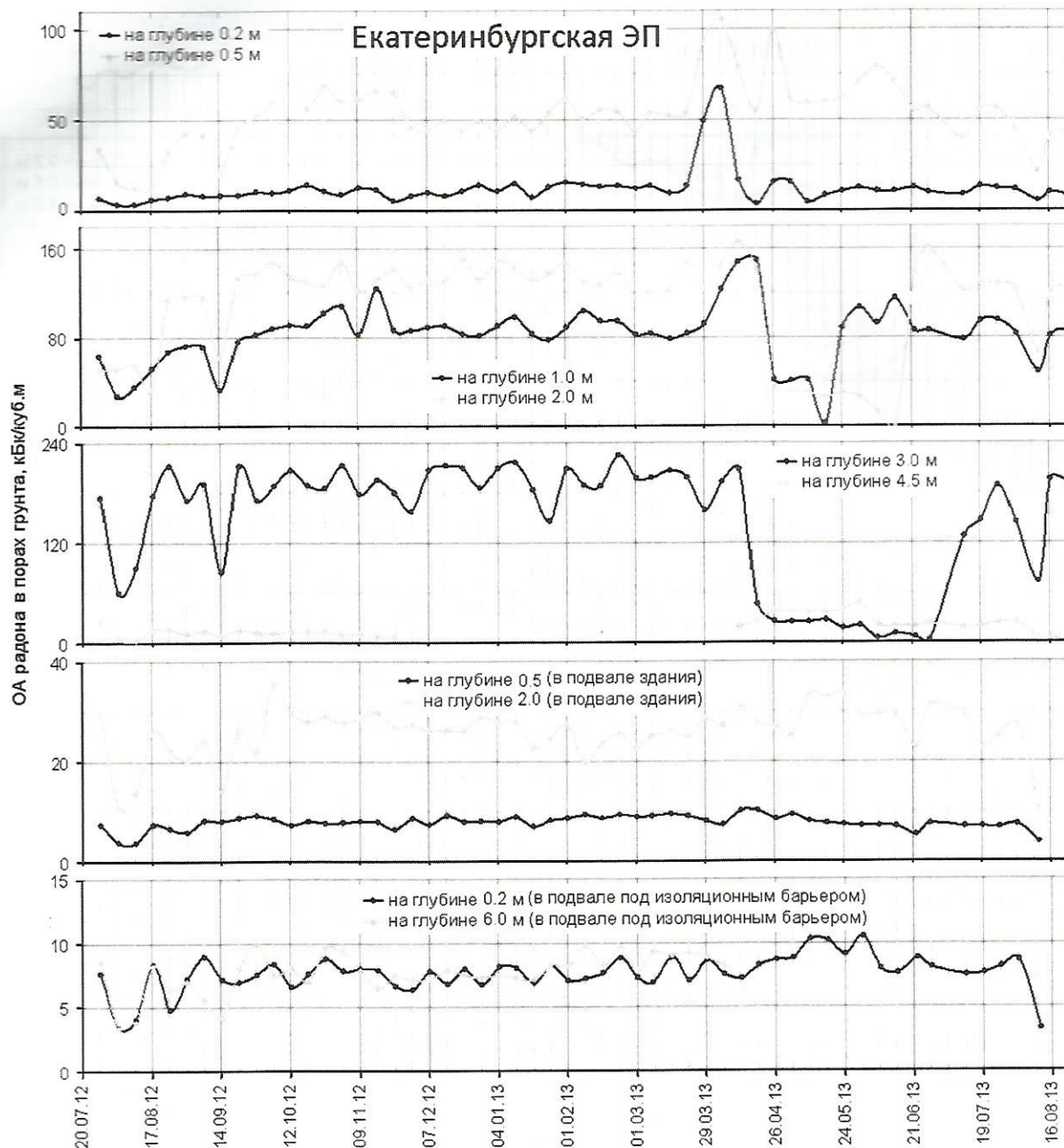


Рис.6. Результаты мониторинга ОА радона в порах грунта на разной глубине Екатеринбургской ЭП (открытый грунт, подвал здания, изоляционный барьер в подвале).

чения коэффициентов вариации для Рязанской и Екатеринбургской ЭП в табл.1). При этом содержание радона в порах грунта на этих глубинах резко снижается (рис.4, 6, 8). Относительное снижение вариаций наблюдается на тех глубинах, где залегают слои грунта с наибольшей эманационной способностью [4]. Из табл.1 следует, что, как и можно было

ожидать, в защищенных от погодного влияния грунтах подвалов зданий и под изоляционными барьерами вариации ОА радона значительно ниже и не изменяются с увеличением глубины.

Вопреки широко распространенному мнению, ни на одной из четырех ЭП не наблюдается монотонного увеличения ОА радона с глубиной (рис.8). Распреде-

ние радона в порах по глубине грунта определяется в первую очередь его эманационной способностью, в основном обусловленной активностью радия-226 [4], а также проницаемостью грунта, которые могут подавляться из-за чрезмерного присутствия воды в поровом пространстве, как это зафиксировано на Рязанской и Екатеринбургской ЭП (рис.4, 6).

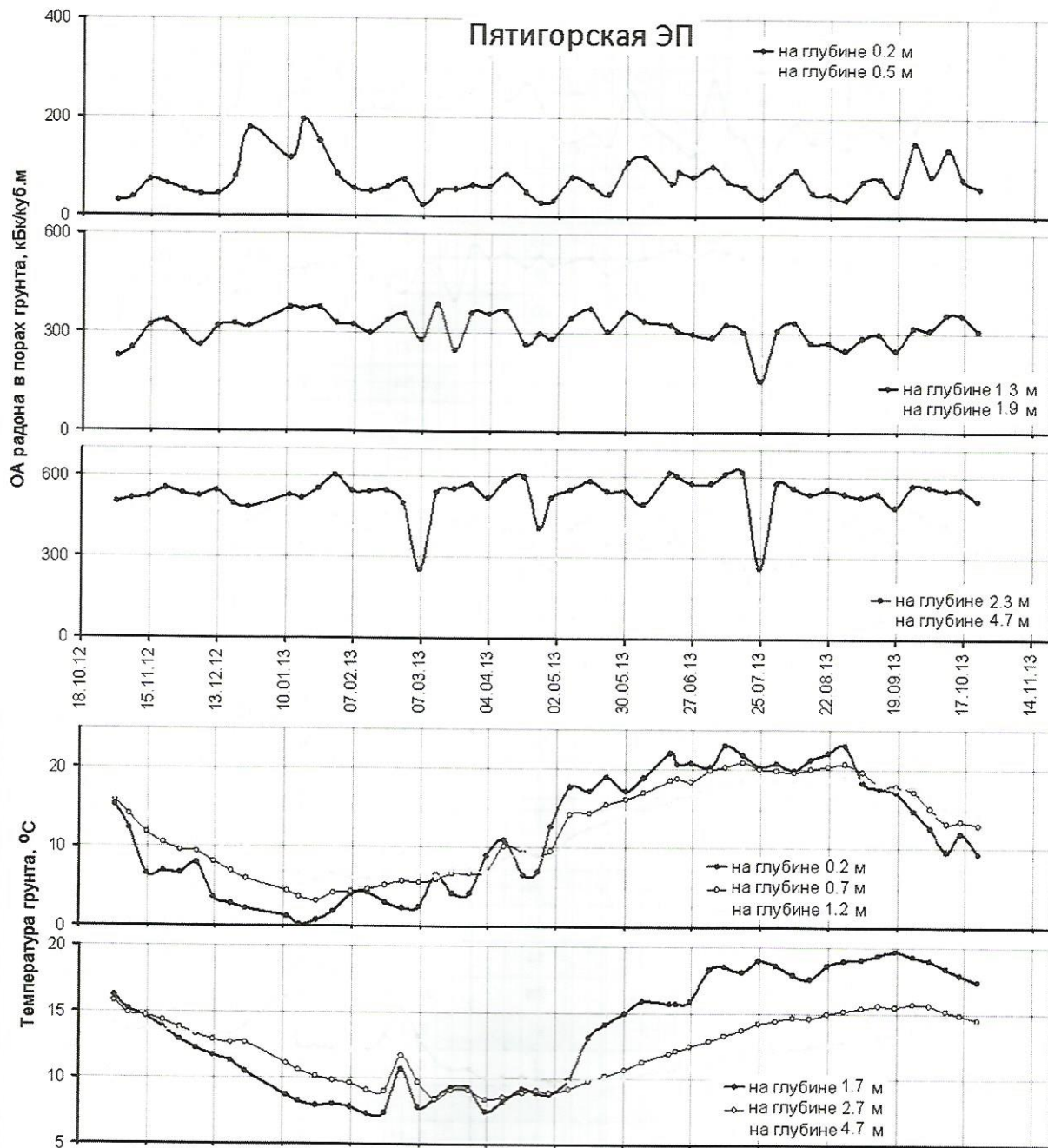


Рис.7. Результаты мониторинга ОА радона в порах грунта и температуры на разной глубине Пятигорской ЭП (открытый грунт).

Анализ временного хода температуры грунта на разных глубинах ЭП (рис.5 и 7), помимо очевидных закономерностей в виде набора годовых синусоид с затухающими с глубиной амплитудами, указывает на периодически возникающие достаточно интенсивные тепловые всплески, краткосрочно увеличивающие температуру грунта на 3–5 °С на

глубинах до 6 м (на больших глубинах температура не измерялась). Наиболее отчетливый тепловой всплеск наблюдался на Рязанской ЭП (рис.5), когда в период снеготаяния 23.03.12 г. водупор, сложенный тяжелыми суглинками с прослоями песка и супесей, и залегающий на глубине примерно 3 м, выступил в качестве локального источника тепла,

от которого начала распространяться мощная тепловая волна в верхние и нижние слои грунта. Из рис.9 также видно, что на Пятигорской ЭП на глубине около 2 м существует температурная аномалия, где, кстати, были зарегистрированы наибольшие значения среднегодовой ОА радона в порах грунта (рис.8) и содержания радия-226 [4]. Таким образом,

Табл.1. Параметры распределения значений ОА радона в порах грунта на ЭП за весь период наблюдений (систематическая составляющая неопределенности не учитывалась).

Наименование ЭП	Глубина контр. точки, м	ОА радона в порах грунта, кБк/м ³			K _{вар} (ОА _{ср год})	Примечание
		ОА _{ср год} * (P = 0,99)	s (ОА _{ср год})**	Мин-Макс		
Московская	0,2	17±4	13	1-70	0,76	Открытый грунт K _{вар} (ППР) = 0,57 [3]
	0,5	33±7	21	<1-91	0,63	
	1,0	21±6	16	<1-94	0,75	
	2,0	22±7	20	<1-81	0,89	
	2,0 (доп.)	25±8	16	1-71	0,66	
	3,0	30±4	12	2-53	0,41	
	5,0	9±2	5	1-43	0,59	
10,0	8±1	2	1-13	0,30		
Рязанская***	0,2	7±2	5	1-15	0,73	Открытый грунт K _{вар} (ППР) = 0,65 [3]
	0,5	9±2	4	4-19	0,47	
	1,0	13±2	4	7-22	0,27	
	1,8	18±1	3	7-22	0,14	
	3,0	17±4	9	3-66	0,51	
	4,8	33±2	4	12-45	0,14	
	6,0	16±6	15	2-37	0,91	
	1,0	21±1	3	8-28	0,15	Под изоляц. барьером
	0,5	7±1	1	5-10	0,15	Подвал здания K _{вар} (ППР) = 0,15 [3]
	1,7	17±1	2	10-21	0,11	
Екатеринбургская***	0,2	12±4	10	3-67	0,81	Открытый грунт K _{вар} (ППР) = 0,44 [3]
	0,5	53±7	19	12-105	0,35	
	1,0	82±11	27	3-149	0,32	
	2,0	109±18	44	<1-166	0,41	
	3,0	148±29	73	2-225	0,49	
	4,5	18±6	11	2-48	0,63	
	0,5	8±1	1	4-10	0,18	Подвал здания K _{вар} (ППР) = 0,24 [3]
	2,0	26±2	5	10-35	0,20	
	0,2	8±1	1	3-11	0,19	Под изоляц. барьером в подвале здания
6,0	8±1	2	3-10	0,20		
Пятигорская	0,2	73±16	37	24-195	0,51	Открытый грунт K _{вар} (ППР) = 0,63 [3]
	0,5	206±26	61	74-355	0,30	
	1,3	312±19	45	154-386	0,15	
	1,9	493±25	60	215-599	0,12	
	2,3	533±28	68	253-616	0,13	
	4,7	380±34	81	126-517	0,21	

* среднегодовое значение;

** стандартное отклонение (характеризует разброс значений ОА радона в контрольной точке за весь период наблюдений);

*** жирным шрифтом выделены результаты, полученные в условиях периодического чрезмерного увлажнения или подтопления грунтов.

ОА радона в порах грунта, кБк/куб.м

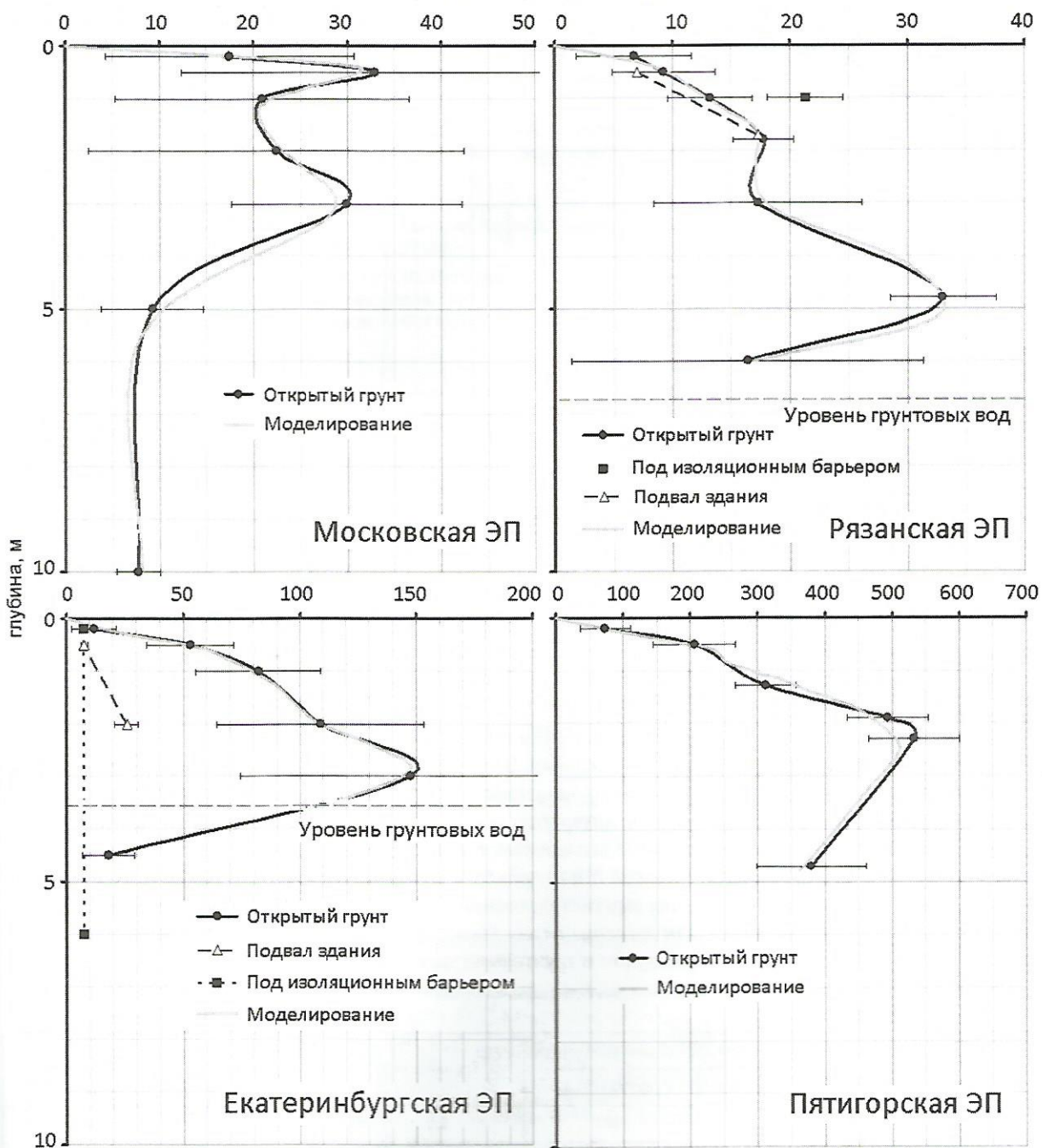


Рис.8. Распределение среднегодовых значений ОА радона в порах грунта по глубине на ЭП (описание процедуры моделирования приводится в [4]).

формирующиеся тепловые потоки в грунтах на открытой местности могут оказывать на фоне действия других факторов не менее существенное влияние на скорость миграции радона к дневной поверхности. Подобных тепловых эффектов не наблюда-

ется в защищенных от осадков грунтах под зданиями (рис.5). Отметим лишь, что небольшое отапливаемое здание, типа деревенского дома на Рязанской ЭП, не оказывает влияния на температуру грунта на глубине ниже 2 м (рис.9), а значительно большее

по площади здание, типа Института УрО РАН на Екатеринбургской ЭП, влияет существенно – температура грунта под ним почти на 10 °С выше, чем на той же глубине (4 м) в открытом грунте. При рассмотрении рис.9 следует учитывать, что перепад высоты

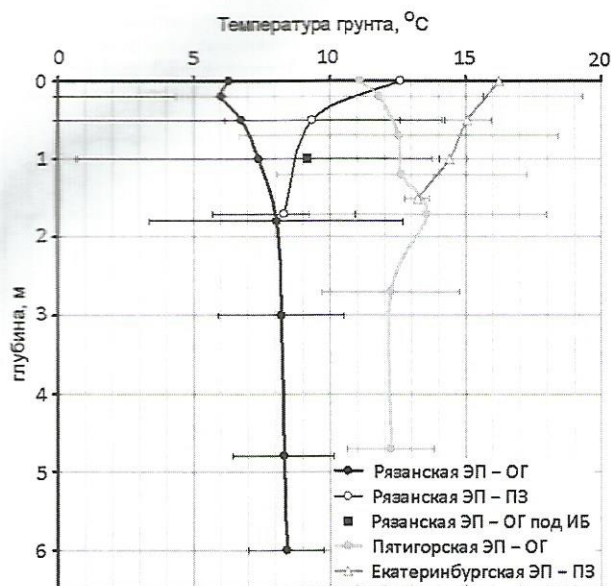


Рис.9. Распределение среднегодовых значений температуры грунта по глубине на ЭП (значение на нулевой глубине соответствует среднегодовой температуре атмосферного воздуха над грунтом за период мониторинга). Обозначения: ОГ – открытый грунт; ПЗ – подвал здания; ИБ – изоляционный барьер.

между уровнем земляного пола в подвале и уровнем открытого грунта составляет примерно 0,5 м на Рязанской ЭП и 2,4 м на Екатеринбургской ЭП.

В отношении поведения нерадиоактивных газов из рис.10 видно, что распределение концентрации CO_2 до глубины 3 м напоминает распределение ОА радона в грунте на рис.8 (Московская ЭП). Наблюдаемое снижение концентрации этих газов на глуби-

нах 1–2 м, помимо прочего, также объясняется существованием газопроницаемого тонкого слоя¹ из песка со щебнем (толщина около 0,2 м), залегающего на глубине 2,0–2,2 м между слабопроницаемыми глинисто-суглинистыми слоями. Наличие этого хорошо проницаемого слоя помогает интерпретировать другие важные закономерности на Московской ЭП, например, наибольшие зарегистрированные перепады давления между атмосферным воздухом и грунтовым газом на



Рис.10. Распределение среднегодовых значений концентрации нерадиоактивных газов (N_2 , O_2 , CO_2) в порах грунта по глубине на Московской ЭП.

той же глубине 2 м (табл.2). Отметим, что перепады давлений на Иркутской ЭП существенно ниже вследствие более однородного состава грунта и отсутствия слабопроницаемых слоев.

Обобщающий анализ всего имеющегося массива информации по рассматриваемой теме будет представлен в наших последующих публикациях, включая результаты наблюдений на Иркутской ЭП.

Авторы благодарны ФМБА России за предоставленную возможность проведения исследований.

Табл.2. Максимальные зарегистрированные значения разности давления между атмосферным воздухом и поровым газом на разной глубине Московской и Иркутской ЭП.

Глубина, м	Московская ЭП (20 сеансов)		Глубина, м	Иркутская ЭП (10 сеансов)	
	Давление, Па	Разряжение, Па		Давление, Па	Разряжение, Па
0,2	3	-425	0,2	31	-45
0,5	908	-270	0,5	6	-2
1,0	5570	-156	1,5–1,6	8	-13
2,0	13200	-2910			
2,0 (доп.)	9000	-1870			
3,0	400	-2350	2,7–3,1	12	-3
5,0	160	-160	7,1–7,2	85	-8
10,0	144	-85			

¹ К сожалению, этот слой не был показан в соответствующей геологической колонке [2].

Литература

1. Маренный А.М., Микляев П.С., Пенезев А.В., Цапалов А.А. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Часть 1. Программа и организация исследований. АНРИ №4(79), 2014. С.33-38.
2. Маренный А.М., Микляев П.С., Пенезев А.В., Цапалов А.А. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Часть 2. Характеристики и оборудование экспериментальных площадок. АНРИ №2(81), 2015. С.15-26.
3. Маренный А.М., Микляев П.С., Пенезев А.В., Цапалов А.А. и др. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Часть 3. Результаты мониторинга плотности потока радона с поверхности грунта. АНРИ №2(81), 2015. С.27-41.
4. Маренный А.М., Микляев П.С., Пенезев А.В., Цапалов А.А. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Часть 5. Результаты лабораторного определения радиационно-физических свойств грунтовых массивов. АНРИ №3(82), 2015. С.64-72.

The Comprehensive Monitored Research of the Formation of the Radon Fields in the Massifs of Soil. Part 4. The Results of Radon Monitoring in the Soil Massifs

A.M.Marennyy¹, P.S.Miklyayev^{1,2}, A.V.Penezev¹, A.A.Tsapalov¹, A.V.Klimshin³, M.N.Lopatin⁴, M.A.Marennyy⁵, T.B.Petrova⁶, D.I.Shkuropat⁵, A.V.Shchelkunov⁷, A.S.Yankin⁸

¹Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Moscow, Russia; ²Sergeevs Institute of Environmental Geoscience, Moscow, Russia; ³Institute of Geophysics, Ural branch of RAS, Ekaterinburg, Russia; ⁴Federal State Unitary Geological Enterprise "Urangologorazvedka" Baikal Branch "Sosnovgeologiya", Irkutsk, Russia; ⁵"Group REI" Ltd., Moscow, Russia; ⁶Moscow State University, Moscow, Russia; ⁷Pyatigorsk Research Institute of Health Resort, Pyatigorsk, Russia; ⁸"Institute Ryazanagrovodproekt" Ltd., Ryazan, Russia.

Abstract. The article presents the results of long-term (from 1 to 3 years) measurements of radon activity concentration, temperature and concentration of non-radioactive gases in the soil pores in the various soil depths (up to 10 m) at the four experimental sites located in the open areas and in the basements of buildings in Moscow, Ryazan region, Yekaterinburg and Pyatigorsk. There are noted the general laws of change of the radon activity concentration in time and depth of soil at different experimental sites. The role of particular factors in formation of soil radon fields is analyzed.

Key words: radon, radium, radon monitoring, radon activity concentration in the soil gas, temperature distribution in the soil, pressure difference in the soil, experimental site.

А.М.Маренный (д.ф.-м.н., с.н.с., зав.лаб.), П.С.Микляев (к.г.-м.н., в.н.с.) – Институт геоэкологии им.Е.М.Сергеева РАН, г.Москва; ФГУП НТЦ радиационной и химической безопасности ФМБА России, г.Москва; А.В.Пенезев (в.н.с.), А.А.Цапалов (к.т.н., с.н.с.) – ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, г.Москва; А.В.Климшин (к.т.н., н.с.) – ФГБУН Институт геофизики им.Ю.П.Булашевича УрО РАН, г.Екатеринбург; М.Н.Лопатин (инж.) – ФГУП "Урангео" БФ "Сосновгеология", г.Иркутск; М.А.Маренный (к.э.н., дирек.) – ООО «ГК РЭИ», г.Москва; Т.Б.Петрова (к.т.н., с.н.с.) – ФБГОУ ВО МГУ им.М.В.Ломоносова, г.Москва; Д.И.Шкоропат (нач.отд.) – ООО «ГК РЭИ», г.Москва; А.В.Щелкунов (с.н.с.) – ФГБУ ПГНИИ Курортологии ФМБА России, г.Пятигорск; А.С.Янкин (нач.лаб.) – ООО «Институт «Рязаньагроводпроект», г.Рязань.

Контакты: тел.: +7 (499) 193-11-02; e-mail: amarennyy@yandex.ru.